

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

---



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 30 252.9

**Anmeldetag:** 4. Juli 2002

**Anmelder/Inhaber:** Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Herstellung integrierter Mikrosysteme

**IPC:** B 81 C, H 01 L

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. Mai 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the President of the German Patent and Trademark Office.

Wallner

5 R. 302348  
26.06.2002

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Verfahren zur Herstellung integrierter Mikrosysteme

15 Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung integrierter Mikrosysteme nach der im Oberbegriff des Patentanspruches 1 näher definierten Art.

20

Die Herstellung integrierter Mikrosysteme wird unter anderem mit Silizium-Germanium-Verbindungen und Germanium durchgeführt, wie dies in Franke, A. E.; Jiao, Y.; Wu, T.; King, T.-J.; Howe, R. T.: Post-CMOS modular integration of poly-SiGe microstructures using poly-Ge sacrificial layers. Solid-State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head, S.C.: June 2000, S. 18-21 beschrieben wird.

25

30

Bei integrierten Mikrosystemen handelt es sich in der Regel um elektronische Systeme oder um eine Kombination aus elek-

tronischen und mechanischen Systemen, wie beispielsweise Resonatoren, Beschleunigungs- oder Drehratensensoren.

5 Zu deren Herstellung wird auf einem Wafer mit elektronischen Schaltkreisen über eine Elektronikpassivierung zunächst eine Leiterbahnebene aus Silizium-Germanium oder Aluminium aufgebracht und strukturiert. Zur Strukturierung wird auf die Silizium-Germanium-Schicht oder die Aluminium-Schicht eine Photolackschicht aufgebracht, welche anschlie-  
10 ßend belichtet wird. Durch die Belichtung wird definiert, an welchen Stellen der zuvor aufgetragene Photolack stehen bleibt, wobei sich an die Belichtungsphase eine sogenannte Entwicklungsphase anschließt. Daran anschließend wird der Wafer bzw. die Silizium-Germanium-Schicht oder Aluminium-  
15 Schicht in einem Ätzverfahren geätzt, wobei die nicht maskierten Teile, d.h. die nicht mit dem belichteten und entwickelten Photolack passivierten Teile, während des Ätzprozesses abgetragen werden.

20 Auf die Silizium-Germanium-Schicht oder Aluminium-Schicht, welche beispielsweise eine Verbindung zwischen elektronischen und mechanischen Komponenten eines Mikrosystemes darstellt, wird üblicherweise eine sogenannte Opferschicht abgeschieden und strukturiert, welche beispielsweise aus Ger-  
25 manium oder germaniumreichem Silizium-Germanium besteht, wobei bei letztgenannten Materialien ein Germaniumanteil vorzugsweise 80 % beträgt.

Über dieser Opferschicht wird die eigentliche SiGe-  
30 Funktionsschicht aufgebracht und strukturiert, wobei vor dem Aufbringen der SiGe-Funktionsschicht eine Strukturie-

5      rung der Opferschicht, beispielsweise mittels eines reakti-  
ven Plasmas, vorgesehen sein kann. Die SiGe-  
Funktionsschicht weist einen geringeren Germaniumanteil als  
die Opferschicht auf, wobei ein Germaniumanteil der SiGe-  
Funktionsschicht beispielsweise kleiner als 80 % vorgesehen  
sein kann. Über einer germaniumreichen SiGe-Opferschicht  
oder einer Germanium-Opferschicht ist somit eine SiGe-  
Funktionsschicht mit einem geringeren Germaniumanteil vor-  
gesehen, die in die Geometrie der Sensorelemente mittels an-  
10      sich bekannter RIE-Verfahren strukturiert wird.

15      Nach dem Aufbringen dieser SiGe-Funktionsschicht wird die  
Opferschicht mit einem Oxidationsmittel wenigstens teilwei-  
se entfernt, wobei typischerweise unter der Opferschicht  
sowohl Bereiche mit einer Passivierung elektronischer  
Schaltkreise als auch offene Bondpads und Vias, eventuell  
sogar offene Leiterbahnen, die in der Regel aus Aluminium,  
Aluminium-Silizium oder Aluminium-Silizium-Kupfer bestehen,  
angeordnet sind. Bei dem sogenannten Opferschichtätzen wer-  
20      den diese metallischen Gebiete freigelegt, so daß die me-  
tallischen Gebiete mit der Ätzlösung in direkten Kontakt  
und somit in Wechselwirkung mit dieser treten können.

25      Als Ätzlösung wird, wie auch in DE 38 74 411 T2 beschrie-  
ben, beispielsweise Wasserstoffperoxid verwendet, welches  
die Elektronikpassivierung nicht angreift, weshalb keine  
speziellen Vorkehrungen zum Schutz der Passivierung erfor-  
derlich sind.

30      Nachteilig bei diesem bekannten Verfahren ist jedoch, daß  
beim Ätzen der Opferschichten eine Reaktion zwischen der

Ätzlösung, beispielsweise Wasserstoffperoxid, und eventuell  
offenen Leiterbahnen und Bondkontakten aus Aluminium bzw.  
Aluminiumlegierungen auftritt, welche teilweise sogar eine  
komplette Zerstörung von Bondpads und anderen offenen me-  
tallischen Bereichen zur Folge hat, bevor die abzutragende  
Opferschicht vollständig entfernt ist. Die Beschädigung  
oder Zerstörung der Bondpads bzw. Leiterbahnen ist unter  
Umständen mit der Zerstörung des gesamten integrierten Mi-  
krosystems gleichzusetzen. Der Ätzangriff resultiert aus  
der Tatsache, daß bei einem Auflösen der Ge-Opferschicht  
oder der SiGe-Opferschicht saure Reaktionsprodukte gebildet  
werden, die den pH-Wert der  $H_2O_2$ -Lösung so stark erniedri-  
gen und derart in den sauren Bereich verschieben, daß auch  
die erwähnten Metallstrukturen angegriffen werden. Eine  
reine  $H_2O_2$ -Lösung ohne Aufladung durch saure Reaktionspro-  
dukte hat nicht den unerwünschten Ätzangriff der Metall-  
strukturen zur Folge.

Um einen derartigen Angriff bzw. eine derartige Zerstörung  
der Bondpads bzw. Leiterbahnen eines Mikrosystems zu ver-  
meiden, wird in der Praxis versucht, die Bondpads bzw. die  
Leiterbahnen mit Passivierungsschichten zu versehen, was  
jedoch zusätzliche Prozeßschritte erfordert, die zu einer  
Erhöhung der Herstellkosten führen.

#### Vorteile der Erfindung

Mit dem Verfahren nach der Erfindung mit den Merkmalen des  
Patentanspruchs 1 zur Herstellung integrierter Mikrosyste-  
me, mittels welchem ein pH-Wert der Ätzlösung während des

Ätzverfahrens einer Opferschicht mit einem Puffer wenigstens annähernd neutral gehalten wird, wird vorteilhafterweise erreicht, daß offene Metallflächen bzw. Leiterbahnen des Mikrosystems von der Ätzlösung nicht angegriffen und zerstört werden. Dabei wird insbesondere bei der Verwendung von offenen Leiterbahnen aus Aluminiumverbindungen, welche ein amphoteres Verhalten aufweisen und deshalb sowohl von Basen als auch von Säuren angegriffen werden, eine Zerstörung derartiger Leiterbahnen mit Ätzlösungen, deren pH-Wert im neutralen Bereich liegt und trotz saurer Reaktionsprodukte, wie beispielsweise  $\text{H}_2\text{Ge}(\text{OH})_6$ , auch dort gehalten wird, vorteilhafterweise vermieden.

Des weiteren ist mit dem Verfahren nach der Erfindung gewährleistet, daß während des Ätzprozesses auftretende Ätzprodukte, welche einen pH-Wert der Ätzlösung in saure Bereiche verschieben würden, von dem Puffer aufgefangen werden und der pH-Wert der Ätzlösung während des gesamten Ätzprozesses um den pH-Wert 7 stabilisiert wird.

Mit dem Verfahren nach der Erfindung werden insbesondere Vorkehrungen überflüssig, die einen Schutz offener, nicht durch Passivierungsschichten bedeckter Metallschichten eines Mikrosystems, z.B. durch Aufbringen von Schutzschichten vor einem Ätzverfahren von Opferschichten, bieten, wodurch eine Fertigung solcher Mikrosysteme vereinfacht wird.

Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen des Gegenstandes nach der Erfindung sind der Beschreibung, den Patentansprüchen und der Zeichnung entnehmbar.

Die einzige Figur der Zeichnung zeigt schematisch vereinfacht ein Ausführungsbeispiel eines integrierten Mikrosystems, welches erfindungsgemäß hergestellt ist.

5

#### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

10

15

20

25

Bezug nehmend auf die Figur ist ein integriertes Mikrosystem 1 dargestellt, welches als ein mikroelektromechanisches System auf einem integrierten Schaltkreis ausgebildet ist. Dabei ist eine elektronische Schaltung 2 auf einem Wafer bzw. einem Substrat 3 angeordnet. Ein mechanisches System 4 ist teilweise durch einen aus Silizium-Germanium ausgebildeten Körper 5 gebildet. Der Körper 5 bzw. dessen Zusammensetzung weist einen derartig niedrigen Germanium-Anteil auf, daß ein Angriff einer Ätzlösung, welche zum Entfernen einer Opferschicht 6, die zwischen der elektronischen Schaltung 2 und dem Körper 5 vor dem Ätzprozeß vorgesehen ist, unterbleibt. Der Germanium-Anteil des Körpers 5 ist vorliegend kleiner als 80 %, wobei der Germanium-Anteil in einer Ausführung der Erfindung vorzugsweise kleiner als 40 %, und bei einer weiteren Ausführung gleich 20 % bis 30 % sein kann. Mit derartigen Germanium-Anteilen wird eine Reaktion mit der Ätzlösung, die vorliegend Wasserstoffperoxid ist, sicher vermieden.

30

Die Opferschicht 6 ist hier als eine Germanium-Opferschicht ausgeführt und kann bis zu einem gewissen Anteil auch weitere Bestandteile aufweisen. Derartige Bestandteile können u.a. Silizium sein, wobei ein Silizium-Anteil nur bis zu einem Grenzwert von etwa 20 % vorgesehen werden darf, um

ein Ätzen nicht zu verhindern. Der Siliziumanteil sollte  
derart gering sein, daß das Entfernen der Opferschicht 6  
bzw. das teilweise Entfernen der Opferschicht 6 während des  
Opferschicht-Ätzverfahrens nicht durch eine zu geringe Ätz-  
5 rate der Opferschicht 6 negativ beeinflusst wird oder zum  
Auftreten von Siliziumrückständen führt.

Bei der Herstellung des Mikrosystems 1 wird zunächst die  
elektronische Schaltung 2 auf dem Substrat bzw. dem Wafer 3  
10 in an sich bekannter Weise erzeugt. Das bedeutet, daß auf  
dem Wafer 3 zunächst eine Leiterbahnebene aus Aluminium  
aufgebracht und strukturiert wird. Diese stellt die elek-  
trische Verbindung zwischen der Mechanik und der Elektronik  
des Mikrosystems 1 dar. Darauf wird die Opferschicht 6 aus  
15 Germanium abgeschieden und strukturiert. Auf die Germanium-  
Opferschicht 6 bringt man anschließend die mechanische  
Funktionsschicht aus Silizium-Germanium bzw. den Körper 5  
auf und strukturiert diesen ebenfalls.

20 Die elektronische Schaltung 2 weist neben den Leiterbahnen  
Passivierungsschichten 8 und Silizium-Germanium- oder Alu-  
minium-Schichten 9 auf, welche auf den Passivierungsschich-  
ten 8 wenigstens teilweise aufgetragen sind.

25 Schichten aus Silizium-Germanium und Germanium weisen den  
Vorteil auf, daß sie niedrige Abscheidetemperaturen haben  
und des weiteren eine sogenannte Back-End-Integration er-  
möglichen. Das bedeutet, daß auf einen integrierten Schalt-  
kreis bzw. einen fertig hergestellten IC weitere sogenannte  
30 Bondpads oder mechanische Elemente additiv angebracht wer-  
den können, ohne den Wafer mit den ICs bzw. deren Funktion



durch die weiteren Fertigungsschritte zu beeinflussen bzw. zu beeinträchtigen.

5 Zur Entfernung der Opferschicht 6 wird ein Opferschicht-  
Ätzverfahren mit einer maximal 30-%igen wässrigen Wasser-  
stoffperoxidlösung, die einen wenigstens annähernd neutra-  
len pH-Wert aufweist, durchgeführt. Um einen Angriff eines  
offenen Aluminium-Pads durch die Ätzlösung bzw. die während  
des Ätzens entstehenden sauren Ätzprodukte zu vermeiden,  
10 wird der Ätzlösung vor dem Ätzprozeß ein Puffer zugegeben,  
welcher den pH-Wert der Ätzlösung während des Ätzverfahrens  
wenigstens annähernd neutral, d.h. auf einen Wert von etwa  
7, hält.

15 Damit wird ein Ätzen amphoterer metallischer Leiterbahnen  
oder Metall-Pads auf einfache Art und Weise vermieden. Al-  
ternativ kann es selbstverständlich auch vorgesehen werden,  
den pH-Wert der Ätzlösung während des Ätzprozesses der Op-  
ferschicht 6 online über einen Sensor zu messen und bei ei-  
nem unzulässigen Absinken oder Ansteigen des pH-Wertes der  
20 Ätzlösung eine Pufferlösung über eine Titration in der er-  
forderlichen Menge zuzudosieren, um den pH-Wert der Ätzlö-  
sung in einem neutralen Bereich, d.h. vorzugsweise in einem  
pH-Wertbereich zwischen 6 und 8, einzustellen.

25 Die durch Zugabe des Puffers ermöglichte Stabilisierung des  
pH-Wertes der Ätzlösung während des Ätzprozesses der Opfer-  
schicht 6 ist insbesondere bei einer Opferschicht aus Ger-  
manium oder Silizium-Germanium von Vorteil, da auftretende  
30 Ätzprodukte wie beispielsweise  $\text{H}_2\text{Ge}(\text{OH})_6$  oder von  $\text{H}_2\text{Si}(\text{OH})_6$   
die Ätzlösung in unerwünschter Weise ansäuern. Eine solche

"Ansäuerung" der Ätzlösung, welche einen Ätzangriff auf die Leiterbahnen und damit eine Zerstörung der elektronischen Schaltung 2 zur Folge hätte, wird durch die Zugabe eines geeigneten Puffers verhindert.

5

Insbesondere bei Verwendung einer Ätzlösung aus Wasserstoffperoxid muß der verwendete Puffer alkali-, erdalkali- und metallfrei ausgeführt sein, da sonst das Wasserstoffperoxid durch Gegenwart von Metall-, Alkali- oder Erdalkalitionen katalytisch rasch zu Wasser und Sauerstoff zerfallen würde. Dieser Zerfall kann insbesondere bei Verwendung von Natriumacetat oder ähnlichen alkalischen Puffern zu einer Explosion führen. Außerdem besteht bei der Halbleiterfertigung die Forderung, alkali-, erdalkali- und metallfreie Lösungen zu verwenden, da derartige Stoffe Fertigungseinrichtungen kontaminieren und somit zu einem Ausfall der integrierten Schaltkreise der in denselben Anlagen gefertigten mikroelektromechanischen Systeme führen können.

10

15

20

25

Alternativ zu Wasserstoffperoxid können auch andere geeignete Oxidationsmittel zum Ätzen der Opferschicht 6 verwendet werden, deren pH-Wert wenigstens annähernd neutral ist oder durch Zugabe von Puffern annähernd neutral eingestellt werden kann. Der pH-Wert des Oxidationsmittels stellt bei der Auswahl eines verwendeten Oxidationsmittels dahingehend eine Prämisse dar, daß ein geeignetes Oxidationsmittel bei dem geforderten, wenigstens annähernd neutralen pH-Wert stabil ist.

30

Ein derartiges Oxidationsmittel kann beispielsweise konzentrierte Salpetersäure sein, da diese in hoch konzentrierter

Form in nicht dissoziierter Form vorliegt und keine Protonen aufweist. Beim Einsatz von konzentrierter Salpetersäure wird beispielsweise ein offenes Aluminium-Pad passiviert, womit ein Angriff der offenen Aluminium-Schicht 7 unterbleibt. Des weiteren kann Peroxosulfat, Peroxodisulfat oder Chlorat, letzteres beispielsweise auch als Ammoniumverbindung in Form von Ammoniumchlorat, Ammoniumchlorit oder Ammoniumhypochlorit, eingesetzt werden, da diese Substanzen sowohl ätzen als auch puffern.

Ist die Opferschicht 6 beispielsweise aus Germanium oder einer Silizium-Germanium-Schicht mit einem hohen Germaniumanteil, vorzugsweise mit einem Germaniumanteil größer als 80 % ausgebildet, wird die Opferschicht von der konzentrierten Salpetersäure geätzt, da Germanium im Gegensatz zu Aluminium kein dichtes Oxid ausbildet. Auf jeden Fall sollte gewährleistet sein, daß bei der Verwendung von Salpetersäure diese in konzentrierter Form verwendet wird, um einen Angriff der freien Metall-Leiterbahnen des Mikrosystems 1 zu vermeiden.

Der verwendete Puffer kann aus Verbindungen bestehen, welche Kationen beispielsweise Ammonium-, Tetramethylammonium- oder Tetraethylammoniumionen aufweisen. Damit korrespondierend und mit den vorgenannten Kationen Verbindungen bildende Anionen können Chlorid-, Hydrogenkarbonat-, Karbonat-, Dihydrogenphosphat-, Hydrogenphosphat-, Phosphat-, Acetat-, Tartrat- oder Nitrationen sein. Das bedeutet, daß ein verwendeter Puffer eine Verbindung aus den vorgenannten Kationen und Anionen, wie beispielsweise Ammoniumacetat, Ammoni-

umdihydrogenphosphat oder auch Tetramethylammoniumdihydrogenphosphat sein kann.

Die verwendeten Konzentrationswerte des Puffers und die Zusammensetzung der Ätzlösung sind auf den jeweilig vorliegenden Anwendungsfall abzustimmen, wobei insbesondere eine Kontrolle des Ätzprozesses wesentlich von der Konzentration des Oxidationsmittels in der Ätzlösung abhängt. Vorliegend wird eine 30-%ige wässrige Wasserstoffperoxidlösung als Ätzlösung vorgeschlagen, die mit einer Konzentration des Puffers von 1% bis 10%, wenn der Puffer ein Mol Kationen bzw. ein Mol Anionen aufweist, gepuffert wird.

Des weiteren wird durch die Verwendung eines vorgenannten Puffers einer zur Stabilisierung des Wasserstoffperoxids häufig vorgenommenen Zugabe von sauren Komponenten zu Wasserstoffperoxid auf einfache Art und Weise vorteilhaft entgegengewirkt, denn ohne Puffer hätte die Zugabe der sauren Komponenten eine Verschiebung des pH-Wertes zur Folge, die wiederum ein Ätzen offener metallischer Leiterbahnen eines Mikrosystems durch die Ätzlösung während eines Opfer-schichtverfahrens bewirken würde.

Einige der vorbeschriebenen Puffer weisen insbesondere beim Ätzen von Germanium-Opferschichten in Verbindung mit Aluminium als Metallisierung Vorteile auf. So bilden sich insbesondere beim Einsatz von Ammoniumacetat als Puffer auf offenen Aluminiumflächen eines Mikrosystems sogenannte Chelate bzw. Aluminiumacetat-Schichten aus, welche das Aluminium zusätzlich passivieren. Zusätzlich wird beim Einsatz von

Ammoniumacetat eine Erhöhung der Ätzrate des Germaniums  
beim Ätzen mit Wasserstoffperoxid erzielt.

26.06.2002

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

#### Ansprüche

- 15 1. Verfahren zur Herstellung integrierter Mikrosysteme,  
die Silizium-Germanium-Funktionsschichten, Germanium-  
Opferschichten und offene Metallflächen aufweisen, wo-  
bei die Germanium-Opferschichten in einer Ätzlösung we-  
nigstens teilweise entfernt werden, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß der pH-Wert der Ätzlösung mit einem Puf-  
fer um einen pH-Wert von wenigstens annähernd 7 stabi-  
20 lisiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß  
der Puffer alkalifrei, erdalkalifrei und/oder metall-  
frei ist.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeich-  
net, daß der Puffer derart gewählt ist, daß eine Verän-  
derung des pH-Wertes der Ätzlösung durch während des  
Ätzprozesses entstehende Ätzprodukte von dem Puffer  
30 verhindert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Ätzlösung wenigstens teilweise aus angesäuertem Wasserstoffperoxid besteht
- 5 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Ätzlösung als Oxidationsmittel Peroxosulfat, Peroxodisulfat, ein Chlorat, ein Chlorit oder Hypochlorit enthält.
- 10 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Pufferlösung Kationen aus Stickstoffverbindungen, vorzugsweise Ammonium-, Tetramethylammonium- oder Tetraethylammoniumionen, enthält.
- 15 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Puffer ein Hydrogenkarbonat, Karbonat, Tartrat und/oder Acetat enthält.
- 20 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Puffer Anionen aus Phosphorverbindungen, vorzugsweise Dihydrogenphosphat, Hydrogenphosphat oder Phosphationen, enthält.
- 25 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Puffer Nitrationen aufweist.
- 30 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Puffer aus Ammoniumacetat, Ammoniumdihydrogenphosphat und/oder Tetramethylammoniumdihydrogenphosphat besteht.

26.06.2002

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Verfahren zur Herstellung integrierter Mikrosysteme

10

Zusammenfassung

15

Es wird ein Verfahren zur Herstellung integrierter Mikrosysteme, die Silizium-Germanium-Funktionsschichten, germaniumhaltige Opferschichten und offene Metallflächen aufweisen, beschrieben. Die germaniumhaltigen Opferschichten werden hierbei in einer Ätzlösung wenigstens teilweise entfernt, wobei ein pH-Wert der Ätzlösung während des Ätzverfahrens mit einem Puffer wenigstens annähernd neutral gehalten wird.

20



1 / 1

